

DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA A DETERMINAÇÃO E MITIGAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Luís Sanhudo ⁽¹⁾, João Poças Martins ⁽²⁾

(1) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

(2) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

Resumo

Com a crescente consciencialização em torno do tópico “sustentabilidade” ao longo dos últimos anos, este conceito começou a ser aplicado à maioria dos sectores económicos da nossa sociedade, com a Indústria da Construção em particular a ter um impacto considerável nas denominadas “acções sustentáveis”. No entanto, embora tenham sido realizados esforços para quantificar a sustentabilidade de um edifício, a complexidade do termo e o seu método de avaliação pouco expedito, desafiam a sua fácil avaliação.

Considerando os enormes benefícios oferecidos pelo *Building Information Modelling* (BIM) na utilização de modelos ricos em informação, os obstáculos previamente enunciados serão abordados propondo um *software* em Dynamo – linguagem de programação visual (VPL) associada ao Autodesk Revit – que estabeleça uma ligação com o modelo BIM do edifício. Desta forma, o *software* contribui para a actualização desta avaliação, simplificando os seus termos, facilitando os seus cálculos e auxiliando na escolha dos créditos a perseguir.

No entanto, visto a sustentabilidade ser um tema muito amplo, neste artigo a certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), mais especificamente os créditos relacionados com a gestão do escoamento superficial de águas pluviais, serviram de exemplo, possibilitando a retirada de conclusões que possam ser adaptadas à certificação no geral.

1. Building Information Modelling

Nos últimos anos, a capacidade para analisar e representar informaticamente modelos tridimensionais de edifícios tem vindo a aumentar significativamente. Mais recentemente, o aparecimento do *Building Information Modeling* (BIM) introduziu enormes alterações na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), transformando um setor altamente

baseado em software de desenho assistido por computador (CAD) num sector dependente de uma correta geração, gestão, e transferência de informações entre os seus intervenientes.

Consequentemente, hoje em dia a indústria incentiva a análise do modelo digital não apenas como uma representação tridimensional do edifício, mas também como um protótipo virtual. Neste, é possível simular condições reais com vista a obter informação vital para o alcance da eficiência exigida pelos investidores. Com este objetivo, a modelação paramétrica tem-se mostrado extremamente eficaz na criação de modelos flexíveis e adaptáveis que facilitem a combinação destes modelos digitais com ferramentas de análise, otimização e automação. Assim, o uso destas ferramentas de simulação e análise computacional, acompanhadas por um leque de técnicas de otimização, permitem a análise de vários critérios de desempenho simultaneamente. Isto permite obter um espectro de soluções que satisfaçam um conjunto de objetivos pré-definidos, que a equipa de projeto pode avaliar e comparar nas fases preliminares do projeto. Desta forma, este artigo pretende explorar esta tecnologia aliada ao tema da sustentabilidade na construção.

2. Sustentabilidade na Indústria da Construção

No final do milénio, a sustentabilidade tornou-se num dos temas mais debatidos no Mundo mas, discutivelmente, um dos menos compreendidos. Com a crescente consciencialização em torno deste tópico, o conceito de “sustentabilidade” começou a ser aplicado à maioria dos sectores económicos, com a indústria da construção em particular a ter um impacto considerável nas ações sustentáveis da nossa sociedade [1]. Isto levou à criação de normas de construção, certificações e sistemas de avaliação destinados a mitigar o impacto dos edifícios no meio ambiente através do *design* sustentável [2]. Desta forma os edifícios apresentariam um melhor impacto ambiental e social na comunidade envolvente e, em simultâneo, adquiriam novas vantagens económicas para o proprietário, nomeadamente sobre a forma de *marketing*.

Criadas na década de 1990, estas ferramentas tiveram um crescimento exponencial no início dos anos 2000 como comprovado pelas 17 ferramentas apresentadas por Haapio e Viitaemi [3], das quais apenas cinco se encontram entre as 26 revistas por Khasreen *et al.* [4]. Este crescimento é habitualmente atribuído aos sistemas de pontuação fortemente influenciados pelo tipo de construção em estudo [5] e às situações climáticas, culturais e legais dos diversos países [1]. Ou seja, apesar dos conceitos base e as necessidades avaliadas serem semelhantes, devido a todas estas vastas diferenças, atualmente diversos países possuem dezenas de certificados, resultando em centenas espalhadas pelo mundo. Neste artigo o certificado *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) foi escolhido como representante destas ferramentas, servindo de exemplo para o estudo da automatização deste tipo de certificados.

O LEED é um sistema voluntário, baseado no sistema de classificação estabelecido pelo *United States Green Building Council* (USGBC) para avaliar a sustentabilidade ambiental de um edifício [6]. Após a sua introdução em 2000, a difusão no mercado e a popularidade do LEED tem vindo a aumentar em todo o mundo [7]. Ao longo da sua história de 16 anos, este certificado manteve-se um ponto de referência do *green design* [8], exibindo uma *check list* periodicamente atualizada, composta por vários créditos relacionados não só com o impacto ambiental do

edifício, mas também com o seu impacto social e económico. Entre estes créditos um dos temas recorrentes é o escoamento superficial de um edifício, que serviu de exemplo neste artigo.

O escoamento superficial tem, nas últimas décadas, manifestando-se como uma das principais causas de problemas no meio urbano, em grande parte devido ao incremento percentual de população mundial residente em cidades [9]. Como tal, as áreas urbanas são continuamente expandidas não só em termos de espaço, mas também de densidade provocando o aumento das superfícies impermeáveis que, por sua vez, tem inúmeras consequências para as infraestruturas da cidade bem como para o ambiente natural envolvente [10]. Consequentemente, a infiltração diminui e a pressão sobre as infraestruturas de águas pluviais aumenta, criando problemas em áreas urbanas tais como [11]: poluição dos recetores naturais de água; inundações; *deficit* de reposição de água subterrânea; redução do fluxo base da água; entre outros. A proliferação de superfícies impermeáveis permite que a água chegue aos órgãos de armazenamento naturais mais rapidamente elevando os picos de escoamento superficial, o que resulta em profundas alterações no curso de água e na degradação de *habitats* naturais. Além disso, dependendo do uso do solo dentro da bacia, nutrientes, substâncias tóxicas, materiais em suspensão, entre outros poluentes, podem ser transportados por terra para cursos de água naturais, tornando o escoamento superficial numa potencial fonte de poluição [12]. Com a intenção de remover e aproveitar o escoamento superficial, as *Low-Impact Development (LID) Best Managing Practices (BMP)* devem ser implementadas.

De facto, atualmente o escoamento superficial é reconhecido como um recurso que deve ser usado para benefícios sociais, ambientais e económicos. Assim, as LID-BMP tipicamente têm como objetivo armazenar esta água por longos períodos de tempo, filtrando-a e reutilizando-a ou, simplesmente, eliminando-a por evaporação e infiltração com o volume restante sendo lentamente libertado para um recipiente natural. Com este propósito as LID-BMP devem ser implementadas o mais cedo possível num projeto, por forma a integrar estas medidas o mais facilmente possível com a paisagem natural e o plano de construção local [13].

Por fim, devido à complexidade do conceito de sustentabilidade e ao método de avaliação pouco expedito associado a estes certificados, o tempo e custos necessários para os adquirir podem ser tão elevados que obscurecem as possíveis vantagens a serem adquiridas. Desta forma, neste artigo, os conceitos acima mencionados são aplicados no desenvolvimento de um *software* BIM, que procura oferecer uma forma rápida, fácil e intuitiva de automatizar créditos LEED ligados ao controlo do volume do escoamento superficial.

3. StormWater Runoff

O *software* criado, intitulado “StormWater Runoff”, tem dois objetivos:

- Determinar automaticamente o escoamento superficial de qualquer edifício, independentemente do seu uso;
- Corrigir o escoamento previamente determinado através da concepção e proposta automática de soluções utilizando LID-BMP.

Para funcionar correctamente este *software* foi equipado com as exigências encontradas nos créditos LEED e o Método Racional. Desta forma, o utilizador encontra no programa um objectivo adequado e conciso a atingir, ao mesmo tempo que dispõe dos meios para o alcançar. Na criação deste *software* foram utilizadas várias ferramentas BIM, nomeadamente o Revit, o Dynamo (linguagem visual de programação) e o Dyno (*software* que serve de interface a aplicações criadas usando Dynamo).

O utilizador final é representado principalmente como um profissional ligado à indústria da AEC, como por exemplo um arquiteto, engenheiro, proprietário, entre outros; no entanto, o *software* também poderá ser utilizado por uma pessoa menos especializada, sem qualquer ligação à indústria da AEC. Este segundo utilizador é uma parte essencial do *software*.

No site oficial do LEED, é sugerida a contratação de profissionais credenciados e o uso de manuais LEED, com o objectivo de identificar quais os créditos a serem perseguidos para atingir um determinado patamar da certificação. O custo desta tarefa por si só pode ultrapassar os 10.000€, dependendo dos prazos, do nível de certificação, da complexidade do projeto e da calendarização [14]. No entanto, utilizando o programa proposto, este custo pode ser consideravelmente reduzido através da introdução de uma mínima quantidade de informação, permitindo ao utilizador distinguir créditos relacionados com o escoamento superficial que possam ser facilmente obtidos. Assim, este *software* foi desenvolvido para se comportar como um programa técnico com foco na obtenção de conhecimentos específicos da AEC, utilizando uma simples e intuitiva interface e uma linguagem adequada a um utilizador não especializado. No entanto, embora sejam tomadas medidas para abranger o utilizador comum, também é possível especificar mais detalhadamente a maioria dos *inputs*, a fim de alcançar um escoamento com maior precisão. Este aspecto do programa é conseguido não só através do uso de bases de dados XML de fácil acesso e edição, mas também através da funcionalidade *override*. Esta funcionalidade destina-se a utilizadores mais experientes, que pretendem utilizar este *software* como uma ferramenta de precisão, cujo propósito é substituir os valores médios armazenados na base de dados por valores calculados pelo utilizador. Assim, como objectivo final subjacente ao *software*, este programa permite ao utilizador reunir todas as informações necessárias para validar qualquer um dos 62 créditos relacionados com a quantidade de escoamento superficial do LEED V4, somados dos 20 créditos da versão LEED V3, que ainda são possíveis de adquirir. Por fim, este *software* pode ainda ser utilizado para justificar decisões tanto nas fases iniciais do projecto, como na fase de construção ou manutenção.

Como já mencionado, para o *software* funcionar é necessária muito pouca informação. De facto, os *inputs* estão limitados a algumas variáveis relacionadas com a precipitação local, à utilização do edifício e preferências do utilizador que indicam as prioridades no cálculo das LID-BMP. As restantes informações são obtidas a partir do modelo Revit. No entanto, como já indicado, para eficazmente alcançar um edifício sustentável é necessário considerar e incorporar as questões da sustentabilidade numa fase preliminar do projecto. Assim, o modelo do edifício pode ainda estar pouco desenvolvido o que torna o *Level of Development* (LOD) do modelo um conceito fulcral na conceção deste *software* [15]. Desta forma, conseguiu-se alcançar os objectivos iniciais do programa utilizando apenas as áreas horizontais do edifício em estudo. No entanto, para um correcto desempenho do programa, estas áreas têm que se encontrar devidamente categorizadas, com cada elemento a corresponder a uma das seguintes categorias

do Revit: *Roofs*, *Floors* e *Topography*. Isto resulta numa especificação mínima de LOD 200 ou, se possível, LOD 300 para alcançar uma maior precisão nos resultados indicados pelo *software*.

3.1 Arquitectura do Programa

O *software* desenvolvido divide-se em duas partes: “Initial Runoff” e “LID-BMP”. Na primeira parte, “Initial Runoff”, o utilizador encontra um conjunto de *inputs* necessários ao correcto funcionamento do *software*. Estes *inputs* são introduzidos no Dyno e enviados para o programa através da ligação entre o Dyno e os *input nodes* (algoritmos gráficos que substituem as típicas linhas de código no Dynamo) do Dynamo. De salientar os *override inputs*, uma vez que, como é possível constatar na Figura 1 onde se encontra ilustrado o fluxograma do programa, estes alteram drasticamente o funcionamento do software. De facto, para obter o escoamento inicial, o *software* extrai informações do modelo Revit e da base de dados, utilizando uma enorme quantidade de computação para o fazer. No entanto, se o utilizador substituir os valores predefinidos, o *software* não requer a informação armazenada na base de dados, excluindo esta ligação.

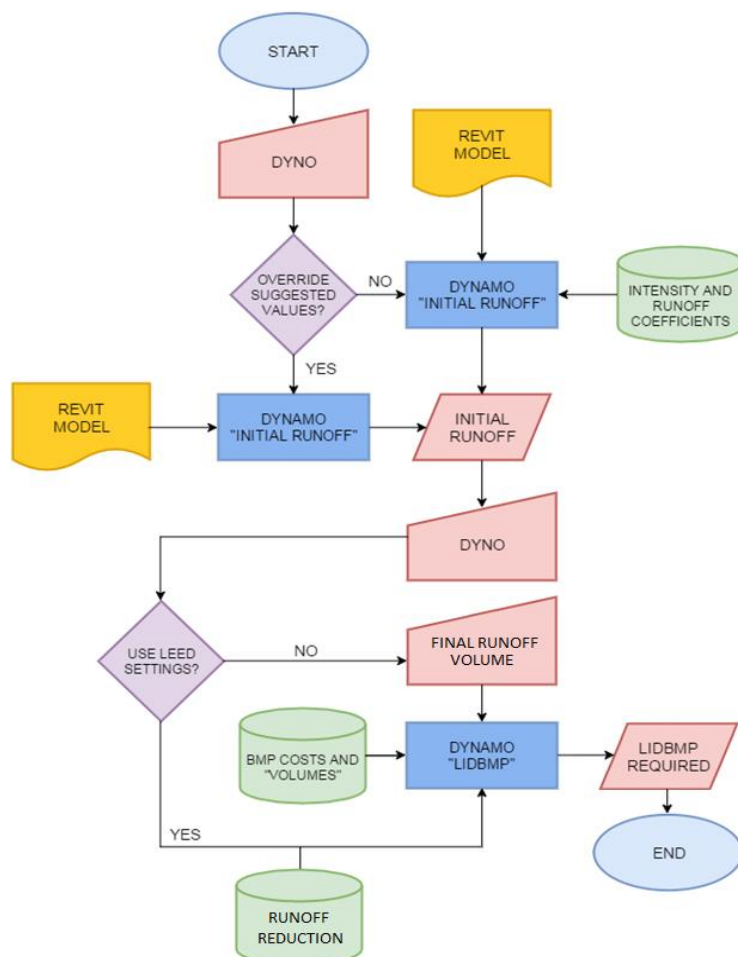


Figura 1: Arquitectura do programa.

Utilizando ou não esta função, se todos os *inputs* forem correctamente introduzidos, esta primeira parte permite calcular o volume total de escoamento superficial, utilizando para isso o

Método Racional em conjugação com as curvas de intensidade, duração e frequência (IDF) relativas à zona em estudo [16]. Os valores destas curvas são obtidos através da ligação a uma base de dados independente, que pode ser expandida para acomodar informação relativa a qualquer país mas que, para o presente artigo, inclui apenas informação relativa a Portugal. Obtido o valor do escoamento inicial, o utilizador pode agora utilizar a segunda parte do programa: o "LID-BMP". Esta segunda parte calcula os vários LID-BMP disponibilizados pelo *software* (*cisterns, green roofs, permeable pavement, rain barrels, rain gardens e swales*) para alcançar o crédito LEED escolhido ou atingir um determinado volume de escoamento superficial final. Na primeira opção o *software* calcula o escoamento a ser mitigado através dos requisitos LEED, enquanto que na segunda fá-lo através da subtração do escoamento final desejado pelo inicial. Uma vez determinado o escoamento a ser eliminado, o *software* calcula múltiplas soluções para alcançar o escoamento final. Obviamente, estes cálculos dependeram dos restantes *inputs* introduzidos, nomeadamente os que se encontram relacionados com a prioridade atribuída às várias variáveis do cálculo. Adquirida a melhor solução, o *software* exibe os LID-BMPs necessários, respectivas áreas ocupadas e custos individuais.

4. Caso de Estudo

No âmbito deste artigo, é fulcral o desenvolvimento de um caso de estudo que permita uma melhor compreensão das capacidades e restrições do *software* criado. Este capítulo foca a criação e descrição do modelo paramétrico usado juntamente com o programa, o executar deste *software* e, por fim, a análise dos resultados obtidos. Assim, este capítulo visa contextualizar a utilidade do programa "StormWater Runoff" na indústria da AEC, validando a capacidade de produzir valores rigorosos de escoamento superficial e de gerar automaticamente soluções ambientalmente favoráveis para o corrigir.

O modelo BIM estudado baseia-se no Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto, Portugal. Como demonstrado pela Figura 2, o modelo em estudo apresenta dois corpos principais dispostos em "T".

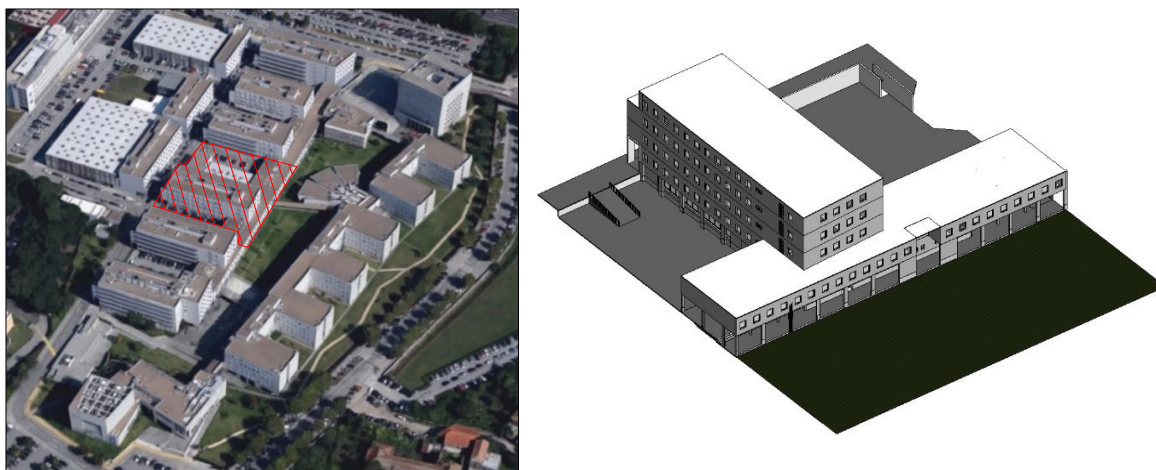


Figura 2: Departamento de Engenharia Civil da FEUP.

4.1 Construção do Modelo

Considera-se que o modelo apresenta um nível de detalhe superior ao exigido pela tarefa de verificação a realizar, dado que os únicos elementos paramétricos que realmente precisam estar corretamente modelados pertencem às seguintes categorias do Revit: *Topography*, *Roofs*, e *Floors*; ou seja, às categorias que possam contribuir para o escoamento superficial. Como tal, usando as propriedades do Revit, foi possível constatar que existem 29 elementos em categorias de interesse: 1 *Topography*, 5 *Roofs* e 24 *Floors*. A enorme quantidade de pisos deve-se ao facto de as escadas exteriores estarem categorizadas como *Floors*. Foi também possível obter as respectivas áreas, totalizando cerca de 2115 m² de *Topography*, 1883 m² de *Roofs* e 8213 m² de *Floors*. Estes valores serão utilizados como validação de vários resultados do *software* na secção 4.6.

4.2 Formulação do Problema

As capacidades do programa têm como propósito completar os seguintes objetivos:

- Obter o atual escoamento superficial criado pelo Departamento de Engenharia Civil com a devida precisão para ser utilizado na segunda parte do software;
- Executar a segunda parte do programa com o objectivo de alcançar o crédito "LEED O+M: Schools" através da implementação de infra-estruturas LID-BMP;
- Calcular a área e os custos associados às LID-BMP implementadas no objectivo anterior.

Como tal, o primeiro passo é identificar a utilização associada a cada categoria do modelo Revit, por forma a obter o respectivo coeficiente de escoamento (CE) superficial armazenado na base de dados [16]. Posteriormente, a zona pluviométrica do edifício (obtida pelas curvas IDF) deve ser identificada juntamente com o período de retorno e a duração da chuva. Após a execução da primeira parte do *software*, os resultados obtidos são introduzidos na segunda parte como *inputs*. Estes incluem o escoamento superficial inicial, as áreas de cada categoria, os respectivos CE, e ainda a intensidade e duração da tempestade. De seguida, é selecionado o crédito LEED a obter e as prioridades a contabilizar na escolha da melhor solução de LID-BMP.

4.3 Condições Iniciais – Primeira parte do programa

Como já referido, os primeiros *inputs* a serem selecionados são o uso das várias categorias ou, em alternativa, o valor do CE a servir de *override*. No que diz respeito aos *Roofs*, o valor indicado na base de dados [16] é de 0,85, obtido do intervalo entre 0,75-0,95. Contudo, para compensar o facto de o telhado ser plano (diminui significativamente o CE superficial), o valor de 0,80 foi o utilizado como *override*. De seguida, os *Floors* adoptaram o uso do solo *Business* com um CE de 0,75, uma vez que, o edifício é maioritariamente constituído por escritórios e secretariados. Por último, a *Topography* adquiriu o uso *Lawn*, com um CE de 0,20.

Em seguida, os *inputs* relacionados com a chuva (duração, período de retorno e zona pluviométrica) têm de ser determinados. Começando pelo período de retorno, e segundo a bibliografia LEED sugerida [17], o valor escolhido foi 10 anos. Este valor encontra-se também de acordo com o *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais* [18], Artigo n.º 210, que indica um período de retorno mínimo de 5 anos. A duração seleccionada foi de 10 minutos. Este valor está novamente de

acordo com a bibliografia LEED e o regulamento Português que, no Artigo n.º 128, indica um intervalo entre 5 e 15 minutos, dependendo da inclinação da superfície. Sendo o local bastante nivelado, foi selecionado o valor médio. Por último, consultando as zonas pluviométricas Portuguesas, foi selecionada a zona A. Todos estes *inputs* podem ser vistos na Figura 3.

4.4 Condições Iniciais – Segunda parte do programa

Na segunda parte do *software* a maioria dos *inputs* necessários são adquiridos após a execução da primeira parte. Desta forma, esses valores não podem ainda ser discutidos. No entanto, os *inputs* relativos aos LID-BMP e às prioridades a serem tidas em conta durante o cálculo podem já ser definidos. Assim, o *software* tem como objectivo tentar alcançar o crédito "LEED O+M", usando para isso a combinação mais barata dos seguintes LID-BMP: *Rain Barrels* (máximo de 10), *Permeable Pavement* e *Green Roofs*. Todos estes *inputs* encontram-se na Figura 3.

4.5 Análise e Discussão dos Resultados – Primeira parte do programa

Nesta secção os resultados obtidos a partir do *software* serão apresentados e amplamente discutidos a fim de provar a exactidão e usabilidade do programa. Como tal, na Figura 3, é possível observar um volume de escoamento inicial de aproximadamente 50405 litros, e ainda outros valores necessários para o correcto funcionamento da segunda metade do *software*.

Destes valores, alguns podem ser rapidamente determinados como correctos através de uma simples comparação entre os resultados obtidos e a informação armazenada no modelo Revit e na base de dados. Por exemplo, por análise da Figura 2, facilmente se conclui que os elementos das categorias *Roofs* e *Topography* contribuem em toda a sua extensão para o volume de escoamento. Como tal, comparando as áreas do Revit presentes na secção 4.2 com as obtidas na Figura 3, é possível deduzir que estas áreas se encontram correctas. Além disso, também é compreensível que a área apresentada pelo *software* referente aos *Floors* seja inferior à exibida na secção 4.2, visto grande parte da categoria não ser atingida pela chuva. Finalmente, comparando os CE apresentados na Figure 4.3 (indicados como "RC"), com o coeficiente que foi *overridden* e os que estão presentes na base de dados [16], evidencia-se que estão corretos.

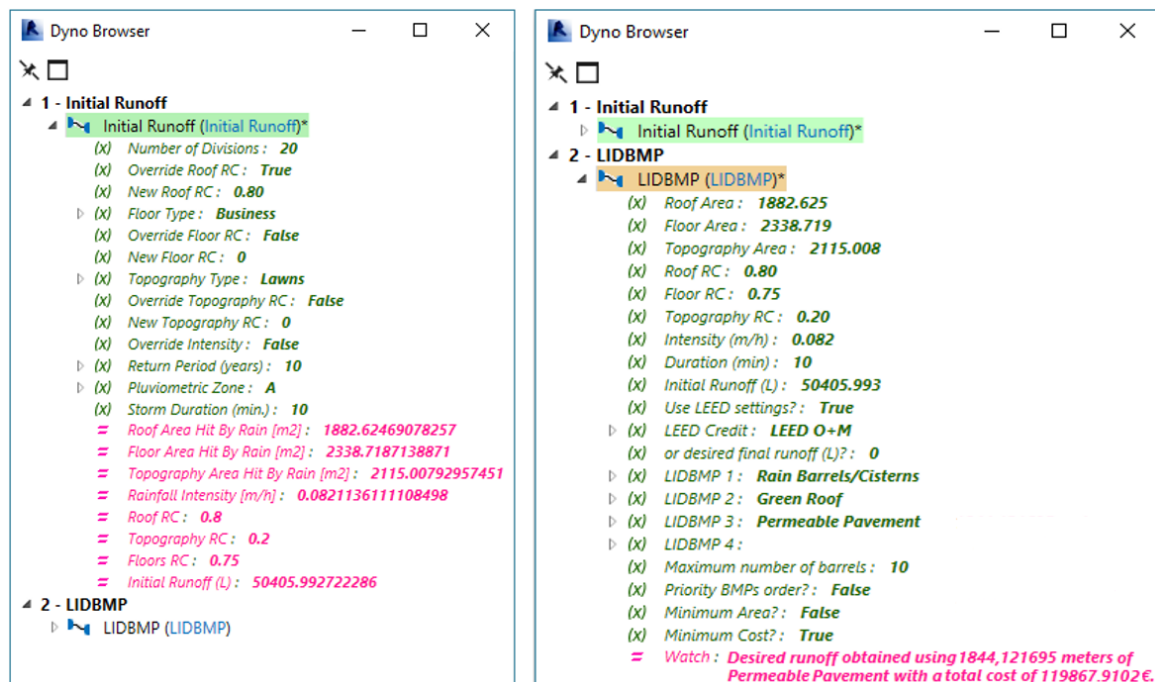


Figura 3: *Inputs* (a verde) e resultados (a rosa) da 1.^a (esq.) e 2.^a (dir.) partes do programa.

No entanto, as conclusões acima mencionadas não validam por si só o volume de escoamento superficial inicial. Assim, o valor real deve ser calculado manualmente, através das equações 1 e 2 do Método Racional, respectivamente para determinar a intensidade da chuva e o volume de escoamento superficial (a primeira equação deriva das curvas IDF de Lisboa, Portugal):

$$I = a \times t^b = 290.68 \times 10^{-0.549} = 82.116 \text{ mm/h} = 0.0821 \text{ m/h} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Q &= A \times C \times I = (1882.625 \times 0.80 + 2338.719 \times 0.75 + 2115.008 \times 0.2) \times 0.082 \\ &= 3683.141 \times 0.082 = 302.018 \text{ m}^3/\text{h} = 302017 \text{ L/h} \rightarrow 50336 \text{ L} \\ &\approx 50406 \text{ L} \end{aligned} \quad (2)$$

De salientar que a diferença entre o escoamento obtido manualmente e o valor exibido pelo software é devido ao *software* trabalhar com números de quinze dígitos (resultando em nove casas decimais) enquanto que os cálculos manuais utilizaram apenas três casas decimais.

4.6 Análise e Discussão dos Resultados – Segunda parte do programa

Na segunda parte, o software tenta alcançar o crédito "LEED O+M" usando a combinação mais barata dos seguintes LID-BMP: *Rain Barrels*, *Green Roofs*, e *Permeable Pavement*. Assim, o software indica a utilização de 1844,1 m² de pavimento permeável como a única LID-BMP necessária. Para validar este resultado três aspectos devem ser abordados:

O primeiro é a constatação de que o *Permeable Pavement* é de facto a medida mais barata. Analisando os custos presentes na base de dados do *software* [16], é possível concluir que com um preço de 65 €/m², este LID-BMP é o mais barato, resultando num total de 119867.9 €.

$$\text{Custo do Permeable Pavement} = \text{Custo} \times \text{Área} = 65 \times 1844.1 = 119867.9 \text{ €}$$

O segundo é a área ocupada. Ao analisar os *inputs* da segunda parte do *software*, é possível verificar que a área total introduzida referente ao *Floor* (única área relevãnte para o *Permeable Pavement*) é de 2338.719 m². Como tal, uma vez que os 1844.122 m² associados ao *Permeable Pavement* pelo programa são inferiores à área real disponível, este aspecto é também validado. O terceiro e último aspecto é a redução do volume de escoamento superficial necessário para o crédito “LEED O+M”. De facto, este crédito exige a redução de pelo menos 25% do volume de escoamento superficial inicial, ou seja, à mitigação de 12601.498 litros neste caso de estudo:

$$Q(\text{Permeable Pavement}) = A \times C \times I = 1844.122 \times (0.75 - 0.25) \times 0.082 = 75.609 \text{ m}^3/\text{h} = 75609 \text{ L/h}$$

$$V(\text{Permeable Pavement}) = 75609 \times 10 \text{ minutos} \times \frac{1}{60} = 12601.500 \text{ L} \geq 12601.5 \text{ L}$$

Com o objectivo de esclarecer este cálculo, deve ser mencionado que a subtração apresentada acima se traduz na subtração entre o CE da categoria *Floor* pelo CE do *Permeable Pavement*.

5. Conclusões

Os dois temas principais deste artigo, Sustentabilidade e BIM, foram combinados para automatizar créditos LEED. Embora o *software* criado concentre-se nos créditos relacionados com o escoamento de águas pluviais, procurou-se generalizar esta metodologia a outros créditos que poderão ser facilmente automatizados. Com efeito, considera-se que os créditos mencionados neste artigo são dos mais difíceis de automatizar visto existirem créditos relacionados com a orientação do edifício, a proximidade a serviços, entre outros, podem ser determinados utilizando apenas a informação armazenada no modelo Revit.

A relevância do *software* foi também comprovada na exibição das suas capacidades no caso de estudo, e através dos factos referentes à importância das certificações de sustentabilidade e à sua respectiva complexidade e custos. Este programa responde ainda à falta de *software* técnico destinado ao público geral, seleccionando cuidadosamente a linguagem aplicada e *inputs* necessários. Além disso, graças à utilização de bases de dados flexíveis e simples de modificar, o *software* encontra-se também equipado para responder a considerações mais técnicas da indústria da AEC podendo, eventualmente, ser utilizado como ferramenta de *design* no apoio à tomada de decisões nas fases preliminares do projeto.

Referências

- [1] T. Ebert, N. Essig, and G. Hauser, Green Building Certification Systems: Assessing Sustainability-International System Comparison-Economic Impact of Certifications: Walter de Gruyter, 2011.
- [2] S. Vierra, "Green Building Standards and Certification Systems," Green Building

- Standards and Certification Systems. October, vol. 27, 2014.
- [3] A. Haapio and P. Viitaniemi, "A critical review of building environmental assessment tools," *Environmental impact assessment review*, vol. 28, pp. 469-482, 2008.
 - [4] M. M. Khasreen, P. F. Banfill, and G. F. Menzies, "Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: a review," *Sustainability*, vol. 1, pp. 674-701, 2009.
 - [5] T. Saraiva, M. G. d. Almeida, and L. Bragança, "Analysis and selection of indicators for a sustainability assessment method for school buildings based on SBTool-PT," 2015.
 - [6] U. S. G. B. C. USGBC, "An Introduction to the US Green Building Council and the LEED Green Building Rating System," PowerPoint presentation on the USGBC website, 2005.
 - [7] J. H. Scofield, "Efficacy of LEED-certification in reducing energy consumption and greenhouse gas emission for large New York City office buildings," *Energy and Buildings*, vol. 67, pp. 517-524, 2013.
 - [8] J. Cidell, "A political ecology of the built environment: LEED certification for green buildings," *Local Environment*, vol. 14, pp. 621-633, 2009.
 - [9] U. N. D. P. UNDP, *Human Development Report 2007/2008 - Fighting climate change: Human solidarity in a divided world*: Palgrave Macmillan, 2008.
 - [10] J. C. Berndtsson, "Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review," *Ecological Engineering*, vol. 36, pp. 351-360, 2010.
 - [11] H. W. Thurston, "Opportunity costs of residential best management practices for stormwater runoff control," *Journal of water resources planning and management*, vol. 132, pp. 89-96, 2006.
 - [12] C. L. Arnold Jr and C. J. Gibbons, "Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator," *Journal of the American planning Association*, vol. 62, pp. 243-258, 1996.
 - [13] H. Jia, Y. Lu, L. Y. Shaw, and Y. Chen, "Planning of LID-BMPs for urban runoff control: The case of Beijing Olympic Village," *Separation and Purification Technology*, vol. 84, pp. 112-119, 2012.
 - [14] U. S. G. B. C. USGBC. (2016, Apr, 2016). LEED Certification Fees. Available: <http://www.usgbc.org/cert-guide/fees>
 - [15] B. Forum, "Level of Development Specification," ed, 2015.
 - [16] L. P. N. Sanhudo, "BIM assessment for Building Sustainability and automatic Rainwater Runoff calculation," Master in Civil Engineering, Civil Engineering, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2016.
 - [17] U. S. E. P. A. USEPA, "Technical Guidance on Implementing the Stormwater Runoff Requirements for Federal Projects under Section 438 of the Energy Independence and Security Act ", O. o. Water, Ed., ed, 2009.
 - [18] d. Portugal. Leis, "Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais - Decreto-lei n.º 23/95, Agosto 23," T. e. C. Ministério das Obras Públicas, Ed., ed. Diário da República I Série-B, 1995, pp. 5284-5319.

